

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik, analisis aerodinamika, serta evaluasi kebutuhan daya mesin dan konsumsi bahan bakar yang telah dilakukan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil simulasi aerodinamika menunjukkan bahwa *rigid sail* dengan penampang *airfoil* berbentuk bulan sabit mampu menghasilkan gaya dorong tambahan yang efektif untuk membantu sistem propulsi kapal. Pada kondisi sudut serang optimum sebesar 20°, Model A menghasilkan gaya dorong sebesar 8,43 kN pada kecepatan angin 12 knot, meningkat menjadi 20,77 kN pada 18,77 knot, dan mencapai 22,66 kN pada 27 knot. Sementara itu, Model B menunjukkan performa aerodinamika yang lebih baik dengan menghasilkan gaya dorong sebesar 10,66 kN pada 12 knot, 22,66 kN pada 18,77 knot, dan 46,91 kN pada 27 knot. Peningkatan gaya dorong tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin yang bekerja pada *rigid sail*, maka semakin besar pula kontribusi gaya aerodinamis yang dihasilkan dalam membantu propulsi kapal. Selain itu, Model B memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan kestabilan aliran dan menghasilkan gaya angkat yang lebih tinggi dibandingkan Model A.
2. Pemasangan *rigid sail* sebagai sistem propulsi bantu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan hambatan efektif kapal dan kebutuhan daya mesin utama. Hambatan total kapal tanpa *rigid sail* sebesar 141,75 kN mengalami penurunan setelah adanya kontribusi gaya dorong dari *rigid sail*. Pada Model A, hambatan efektif kapal berkurang menjadi 133,33 kN pada kecepatan angin 12 knot, 120,99 kN pada 18,77 knot, dan 98,80 kN pada 27 knot. Sementara pada Model B, hambatan efektif kapal turun menjadi sekitar 131,09 kN pada 12 knot, 119,09 kN pada 18,77 knot, dan 94,85 kN pada 27 knot. Penurunan hambatan tersebut berdampak langsung terhadap berkurangnya kebutuhan daya mesin utama kapal. Kebutuhan daya mesin yang semula sebesar 967,64 kW pada kondisi tanpa *rigid sail* mengalami penurunan menjadi 910,12 kW, 825,86 kW, dan 674,45 kW pada penggunaan Model A. Adapun pada penggunaan Model B, kebutuhan daya mesin turun menjadi 904,94 kW, 812,96 kW, dan 647,44 kW pada masing-masing variasi kecepatan angin. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *rigid sail* mampu mengurangi beban kerja sistem propulsi utama secara efektif, khususnya pada kondisi kecepatan angin yang lebih tinggi.
3. Penerapan *rigid sail* berbentuk bulan sabit terbukti mampu memberikan penghematan konsumsi bahan bakar yang signifikan pada kapal tanker 5000 DWT. Konsumsi bahan bakar kapal tanpa *rigid sail* sebesar 8.314,08 liter per hari atau setara dengan 3.034.639 liter per tahun mengalami penurunan setelah pemasangan *rigid sail*. Pada penggunaan Model A, konsumsi bahan bakar turun menjadi 7.819,68 liter per hari dengan penghematan sebesar 5,94% pada kecepatan angin 12 knot, 7.095,84 liter per hari dengan penghematan 14,66% pada 18,77 knot, dan 5.794,80 liter per hari dengan penghematan mencapai 30,30% pada 27 knot. Sementara itu, penggunaan Model B menghasilkan konsumsi bahan bakar sebesar 7.775,28 liter per hari dengan penghematan 6,47% pada 12 knot, 6.984,78 liter per hari dengan penghematan 15,99% pada 18,77 knot, serta 5.553,12 liter per hari dengan penghematan tertinggi sebesar 33,21% pada kecepatan angin 27 knot. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan

bahwa Model B memiliki tingkat efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan Model A dalam memanfaatkan energi angin sebagai sumber propulsi tambahan. Dengan demikian, penerapan *rigid sail* berbasis *airfoil* berbentuk bulan sabit memiliki potensi yang sangat baik untuk mendukung pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon pada sektor pelayaran, sejalan dengan upaya *dekarbonisasi* industri maritim global.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian serta keterbatasan yang ditemukan selama proses analisis, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat diajukan untuk penelitian lanjutan maupun implementasi praktis di industri pelayaran yaitu:

1. Perlu dilakukan validasi eksperimental melalui pengujian terowongan angin (*wind tunnel*) maupun uji model skala laboratorium. Validasi ini penting untuk memastikan bahwa hasil simulasi CFD memiliki tingkat akurasi yang tinggi ketika diaplikasikan pada kondisi nyata. Pendekatan eksperimental juga dapat memperkaya data empiris yang diperlukan untuk kalibrasi model numerik.
2. Perlu dilakukan analisis stabilitas kapal akibat pemasangan *rigid sail*. Penambahan struktur *rigid sail* pada kapal berpotensi memengaruhi titik berat, momen balik, serta karakteristik stabilitas kapal, sehingga diperlukan evaluasi lebih mendalam untuk memastikan keselamatan operasional kapal.
3. Perlu dikembangkannya sistem kontrol otomatis pada *rigid sail*, seperti pengaturan sudut serang secara adaptif terhadap arah dan kecepatan angin. Sistem kontrol tersebut diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi angin secara optimal selama operasi pelayaran.
4. Perlu dikajinya analisis ekonomi dan lingkungan secara lebih komprehensif, meliputi biaya investasi, biaya operasional, periode pengembalian investasi (*payback period*), serta potensi pengurangan emisi karbon yang dihasilkan dari penerapan teknologi *Wind Assisted Propulsion System* (WAPS).